السر الكوني الأعظم: كيف تحكم النسبة المثالية 2.01 بين الكواركات والفرق الدقيق 1.293 بين النيوترون والبروتون مصير الكون بأكمله؟

ثائر سلامة، أبو مالك

هذه المقالة جزء من كتاب: نَشْأَةُ الْكَوْن، دَلِيْلٌ عَقْلِيٌّ عِلْمِيٌّ حِسّيٌّ عَلَىْ وُجُوْدِ الْخَالِقِ، انقر على اسم الكتاب والذي يحوي رابط تحميل الكتاب كاملا من موقع أرشيف!

التعيير المنضبط الدقيق المحكم لكتل الجسيمات تحت الذرية:

تربط معادلة آينشتاين المهمة $E=mc^2$ بين ما في الجسيم من كتلة ومقدار ما فيه من طاقة، أي إن حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء يساوي مقدار طاقة الجسيم.[1].

"وقد تمكن فريق بحثي من مختبر بروكهافن الوطني- (Brookhaven National Laboratory) ويعد أحد أكبر معامل الأبحاث في الولايات المتحدة الأميركية- من تحقيق رصـــد دقيق للكيفية التي يمكن أن يتحول بها الضـــوء إلى جســـيمات المادة. وحســـب ورقتهم البحثية التي نشـــرت في دورية "فيزكال ريفيو ليترز (Physical " Review Letters)وأعلنها المختبر في بيان صـــحفي صـــدر 28 يوليو/تموز 2021، فإن الفريق اســـتخدم لهذه المهمة مصـادم جسـيمات حديث نسـبيا، يدعى "رايك (RHIC) " "اختصـار لـــ"مصـادم أيونات ثقيلة بسـرعات النســبية في الفيزياء النووية.(Relativistic Heavy Ion Collider) " ومصـــادمات الجســـيمات -كما يبدو من اسمها- أجهزة تستخدم لضرب الجسيمات بعضها ببعض بسرعات هائلة تقترب من سرعة الضوء، ثم دراسة ما يخرج من هـذا التصـــادم، تطلب الأمر أعواما من الفحص، وأكثر من 6 آلاف عملية تصـــادم لرصـــد الإلكترونات الناتجة، واســـتخدام آليات حاســـوبية معقدة لإثبات أنها نتجت بالفعل من هذا التصـــادم بين الفوتونات".[2]

الجسيم	الكتلة	الكتلة بالغرامات	الطاقة
كتلة الإلكترون	9.109383 x 10^-28 غرام	0.000,000,000,000,000,000,000,000,000,910,9383	0.510998 MeV
كتلة البروتون	1.672621 x 10 ^-24 غرام	0.000,000,000,000,000,000,000,001,672,621,923	938.272 MeV

---

[1] وفي الجسيمات الذرية وتحت الذرية تستعمل وحدة الإلكترون فولت لقياس مقدار الطاقة، والطاقة هنا eV وتقرأ: إلكترون فولت، هي وحدة الطاقة المحتواة في الجسيم الذري، ومقدارها بالضبط: $1.602176634 \times 10^{-19}$ joules، وتقيس كمية الطاقة الحركية التي يكتسبها الكترون واحد غير مرتبط عند تسريعه بواسطة جهد كهربائي ساكن قيمته 1 فولت في الفراغ، ومضاعفاتها: keV كيلو الكترون فولت، أو ألف، وMeV ميغا الكترون فولت، أي مليون، وGeV جيجا، أو ألف مليون، و TeV تيرا أي مليون مليون.

أو الإلكترون فولت هو الطاقة التي يكتسبها إلكترون واحد عند انتقاله مسافة يهبط فيها توتر التيار فولتا واحدا.

[2] لأول مرة.. علماء يتمكنون من رصد تحول الضوء إلى مادة، شادي عبد الحافظ، الجزيرة.

كتلة النيوترون	1.674927×10^{-24} غرام	**0.**000,000,000,000,000,000,000,001,674,927,471	939.565 MeV
الكوارك السفلي	$1.7487916 \times 10^{-26}$ غرام	**0.**000,000,000,000,000,000,000,000,017,487,921	0.65 ± 9.81 MeV
الكوارك العلوي	$8.6993914 \times 10^{-27}$ غرام	**0.**000,000,000,000,000,000,000,000,008,699,393,	0.57 ± 4.88, MeV

الجدول رقم (3): كتل الجسيمات الابتدائية، المصدر للإلكترونات والبروتونات والنيوترونات: e n p Wikipedia و A Brief History of Time - Hawking p 282؛ حساب كتل الكواركات السفلية والعلوية بالغرامات (ثائر سلامة) بناء على: Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p16

فرق الكتلة بين الكوارك السفلي والكوارك العلوي بالغرامات:

= **0.**000,000,000,000,000,000,000,000,008,788,524 غرام، = 8.78852×10^{-27} غرام

فرق الكتلة بين النيوترون والبروتون = 0.000,000,000,000,000,000,000,000,002,305,546= 2.30554×10^{-27} غرام. ويكافؤ 1.293 MeV فوجود الكون معلق بضبط فرق الكتلة بين النيوترون والبروتون بهذه القيمة المتناهية في الصغر،

ضبط حدود كتل الجسيمات تحت الذرية مثل كتل الكوراكات وكتلة البروتون[3]:

تشير العديد من الدراسات الحديثة والقديمة في مجال الفيزياء الفلكية والجسيمات تحت الذرية إلى أن استقرار المادة في الكون يعتمد بشكل كبير على ضبط دقيق لكتل الكواركات، وهي الجسيمات الأساسية التي تشكل البروتونات والنيوترونات. ويُعتبر الفرق الكتلي بين الكواركات العلوية (up quarks) والكواركات السفلية (down quarks)أحد العوامل الأساسية التي تحدد استقرار هذه الجسيمات، وبالتالي استقرار الذرات والنوى التي تشكل المادة. كما أن هذا الضبط الدقيق يُعد شرطاً أساسياً لمنع تفاعلات الاضمحلال التي قد تؤدي إلى انهيار البروتونات والنيوترونات، مما يجعل المادة كما نعرفها غير ممكنة.

ومن هذا مثلا أن نطاق range الكتل المسموح به لكتل الكواركات الخفيفة light quark masses مضبوط بحيث يتم **فرض قيود** تحول دون تحلل البروتونات والنيوترونات داخل النواة، ولكي تبقى البروتونات الحرة، ولكي تبقى نواة الهيدروجين مستقرة!!

كما أن وجود عنصر الهيدروجين يعتمد على منع حدوث تفاعل اضمحلال فجائي للبروتون يتحول معه إلى نيوترون، أو عبر منع تفاعل آخر للبروتونات تحول فيه نفسها إلى نيوترونات، كلا التفاعلين يحتاج لضبط يمنع حدوثهما، وهذا الضبط يتمثل بضبط الفرق الكتلي للأجسام تحت الذرية.[4]

---

[3] التوثيق العلمي لهذه الفقرة:

1. Carr, B. J., & Rees, M. J. (1979). "The Anthropic Principle and the Structure of the Physical World". *Nature*, 278(5705), 605-612.
هذه الورقة تناقش فكرة الضبط الدقيق للكون، بما في ذلك التأثيرات على مستوى الجسيمات تحت الذرية كالكواركات، وكيف يؤدي التوازن الدقيق بين كتل الكواركات إلى استقرار البروتونات والنيوترونات.

2. **Hogan, C. J. (2000). "Why the Universe is Just So". *Reviews of Modern Physics*, 72(4), 1149-1161.**
تتناول هذه الورقة الأسس الفيزيائية التي تفسر سبب ضبط بعض الخصائص الكونية بشكل دقيق، بما في ذلك كتل الكواركات وتأثيرها على استقرار المادة.

3. **Adams, F. C. (2019). "The Degree of Fine-Tuning in our Universe". *Physics Reports*, 807, 1-111.**
يقدم هذا التقرير تحليلاً شاملاً للضبط الدقيق في الكون، ويستعرض كيفية تأثير الكتل المختلفة للجسيمات تحت الذرية، مثل الكواركات، على استقرار الذرات والعناصر الأساسية في الكون.

4. Barr, S. M., & Khan, A. (2007). "Anthropic Tuning of the Weak Scale and of the Cosmological Constant". *Physical Review D*, 76(4), 045002.
يناقش هذا البحث الضبط الدقيق المرتبط بالقوى النووية الضعيفة وكيفية تأثيره على استقرار المادة عند مستوى الكواركات، مما يساهم في استقرار الكون كما نعرفه.

5. **Wilczek, F. (2007). "The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces". *Basic Books*.**
يتناول الكتاب بعمق موضوع الكواركات والكتلة وكيفية تأثير الفروق الكتلية بين الكواركات على استقرار الجسيمات الأكبر، مثل البروتونات والنيوترونات، وبالتالي استقرار المادة في الكون.

[4] أنظر المعادلات التفصيلية لهذه الكتل في كتاب: Fred C. Adams p 17 - 19 The Degree of Fine-Tuning in our Universe

كيف يتم هذا؟ لنبدأ بالكواركات، ثم نرى بعد ذلك أثر الفرق الكتلي للأجسام الذرية (البروتونات والنيوترونات)!

تقول موسوعة ستانفورد الفلسفية[5]: "يبدو الفرق بين كتل الكواركين الأخف وزنا – أي الكوارك العلوي والسفلي – معيراً تعييراً مضبوطاً محكماً لإنتاج الحياة (Hogan 2000: section. 4؛ Carr & Rees 1979؛ Hogan 2007؛ Adams 2019: section. 2.25). إن الضبط الدقيق لهاتين الكتلتين مهم جزئياً بالنسبة لشِدّةِ القوة النووية الضعيفة (Barr & Khan 2007). وستتأثر الخصائص اللازمة لاستقرار البروتون والنيوترون تبعا لتغيير **<u>مدى الاختلاف</u>** بين كتلتي الكواركين العلوي والسفلي، إذ إن البروتون والنيوترون يرتبطان أشد الارتباط بهذه الكواركات تحديداً، فإذا ما اختلف التعيير المنضبط المحكم بين كتلتيهما، فإن ذلك الاختلاف سيفضي إلى كونٍ أبسطَ وأقلَّ تعقيداً، أي إلى كونٍ تهيمن فيه حالات مرتبطة من الكواركات ليست من خلال بروتونات أو نيوترونات. كذلك، يمكن أن تَحدث تأثيراتٌ مماثلة إذا كانت كتلة الإلكترون، -وهي أصغر بعشر مرات تقريبًا – جراء اختلاف فرق الكتلة بين الكوارك السفلي والكوارك العلوي، وسيكون التأثير في هذه الحالة أكبر إلى حد ما بالنسبة لهذا الاختلاف. هناك أيضًا قيود مطلقة على كتل هذين الكواركين الأخفّ وزناً (Adams 2019: fig. 5)."[6]

في الورقة التي قدمها **Carr**و**Rees (1979)**، يناقش الباحثان أن الفرق الكتلي بين الكوارك العلوي والسفلي يعد معيراً بدقة ليتيح تكوين البروتونات والنيوترونات بطريقة تجعل الكون كما نعرفه ممكنًا. إذا كانت كتل هذه الكواركات مختلفة قليلاً عما هي عليه في الواقع، فإن البروتونات والنيوترونات لن تكون قادرة على التشكّل، وهذا يعني عدم وجود الذرات، وبالتالي عدم وجود المادة التي تشكل الكون. هذه النقطة تؤكد على أهمية الضبط الدقيق في الكتل لتجنب تكوين "كون بسيط وأقل تعقيدًا" لا يحتوي على المادة اللازمة للحياة.*(Carr & Rees, 1979, p. 607)* .

لو لم يتم تعيير النطاق الحدي **<u>لمقدار كتل</u>** الكواركات السفلية، **<u>ولمقدار كتل</u>** الكواركات العلوية، وبالتالي تعيير **<u>نطاق الفرق بين كتل</u>** الكواركات السفلية وكتل الكواركات العلوية، (فهو تعيير ثلاثي الأبعاد)، لنتج عن ذلك:

أ) إمكانية اضمحلال أو تحلل أو **<u>تفتت</u>** الكواركات العلوية إلى سفلية أو العكس، وبالتالي، ولأن البروتون يتكون من كواركين علويين وآخر سفلي، ولأن النيوترون يتكون من كواركين سفليين وآخر علوي فإن البروتون أو النيوترون لن **<u>يتشكلا</u>**، وبالتالي لن توجد في الكون "مادة" لو حصل هذا الاضمحلال!

[5] Stanford Encyclopedia of Philosophy- Fine-Tuning

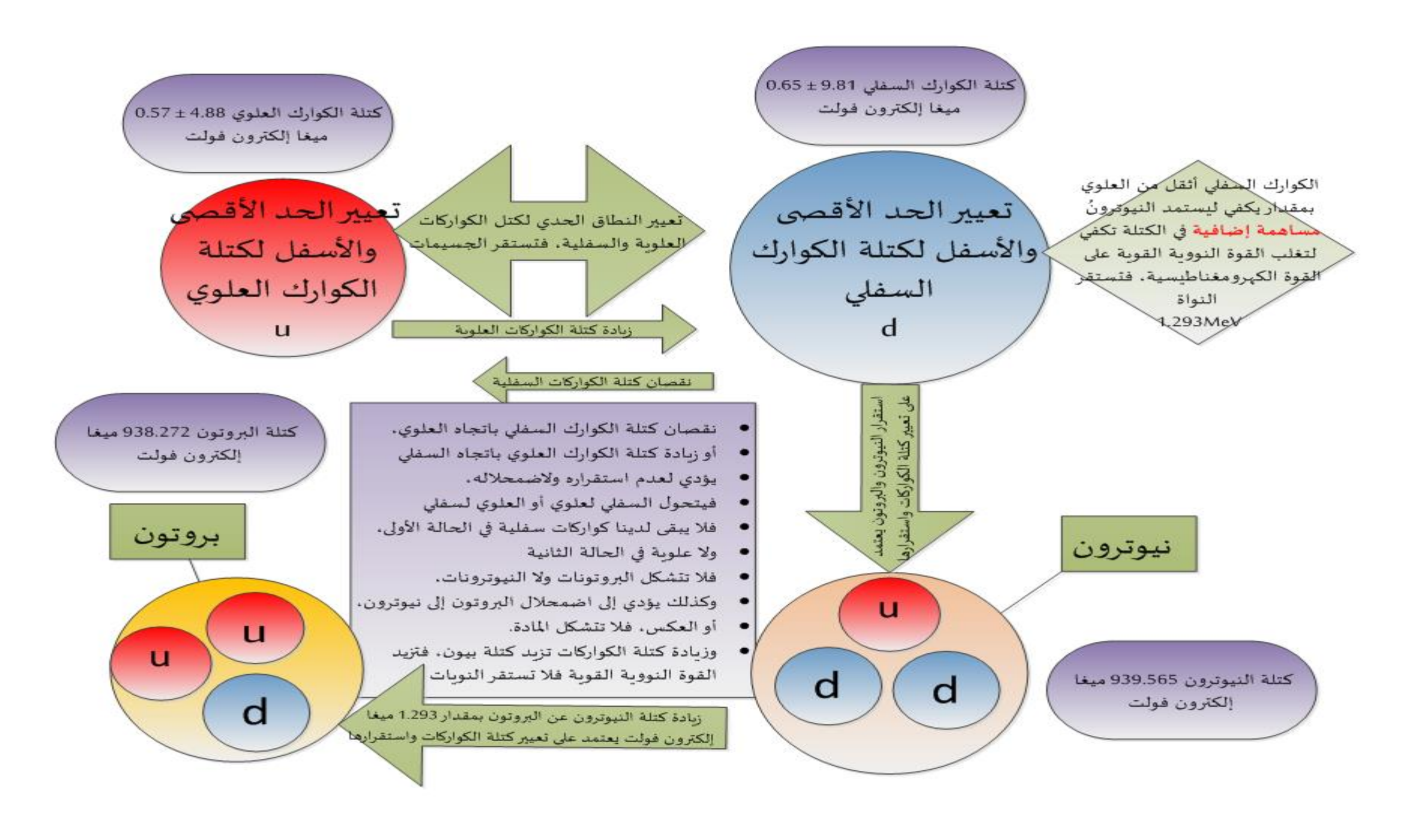
[6] Stanford Encyclopedia of Philosophy- Fine-Tuning

ب) لن تستقر الكواركات العلوية، أو السفلية، إذا كان فرق الكتلة بينهما خارج النطاق المعير تعييرا دقيقا، الأمر الذي كان ليتسبب في عدم استقرار البروتونات أو النيوترونات أيضا!

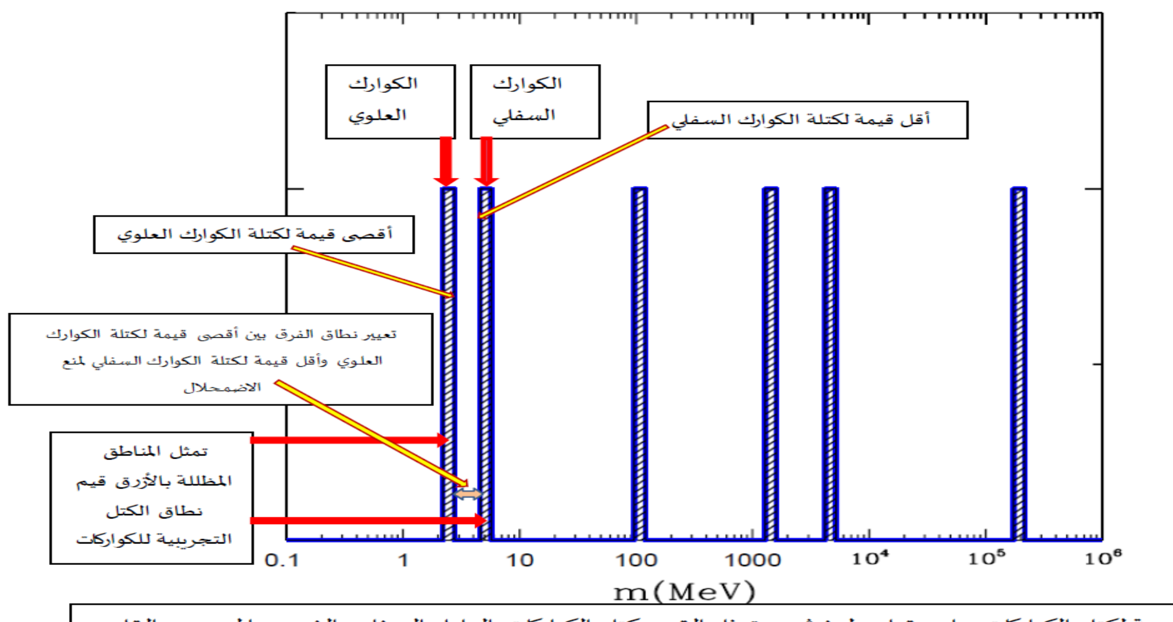
- عدد الكواركات المكتشفة هو 6 أنواع، وحتى لا تضمحل أو تتفتت Decay الكواركات العلوية إلى كواركات سفلية، وبالعكس حتى لا تضمحل أو تتفت الكواركات السفلية إلى كواركات علوية -الأمر الذي لو حدث لما تشكلت البروتونات ولا النيوترونات في الذرة-
- وحيث إن استقرار الأنواع العلوية من الكواركات، واستقرار الأنواع السفلية من الكواركات كذلك يعتمد على تعيير دقيق **للحد الأعلى والأسفل** لمقدار **كتل** الكواركات السفلية لا تتجاوزه،
- كذلك الأمر، لا بد من تعيير دقيق منضبط **للنطاق الحدي** (الأقصى والأدنى) **لكتل** الكواركات العلوية لا تتجاوزه (وإلا حصل الانحلال بأحد الاتجاهين)،
- وهذا يعني أيضا أن **الفرق بين كتل** الكواركات العلوية والسفلية يجب أن يبقى في نطاق معين مضبوط بدقة وعناية لا يتجاوزه[7]،
  - حتى يمنع هذا الضبط الدقيق عملية انحلال الكواركات العليا إلى السفلى،
  - أو السفلى إلى العليا،
  - وحتى يضمن استقرار الكواركات العليا والسفلى،
  - وبالتالي حتى يضمن تشكل البروتونات والنيوترونات، وبالتالي المادة التي نعرفها في الكون.
  - ومن أجل منع مثل هذا الاضمحلال أو الانحطاط، ومن أجل السماح للجزيئات التي تلزم للدخول في نسيج بناء الكون لتعيش حياة طويلة مستقرة، فإنه لا بد من التعيير المنضبط الدقيق المحكم للحد الأعلى لفرق الكتلة بين الكواركات![8]

[7] Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p 18.

[8] The Degree of Fine-Tuning in our Universe Fred C. Adams p 17 - 19



الشكل رقم (24) ملخص تعيير كتل الكواركات، و أثره على نشوء واستقرار المادة.



القيم التجريبية لكتل الكواركات على مقياس لوغرثمي. تمثل القمم كتل الكواركات العليا. السفلى. الغريب. المسحور. القاع. القمة بالترتيب من اليسار إلى اليمين

Figure 4: Experimentally measured quark masses. The spikes correspond to the six known quarks (u, d, s, c, b, t), from left to right. The quark masses are relatively evenly spaced on a logarithmic scale

الشكل رقم (25): القيم التجريبية لكتل الكواركات، المصدر: The Degree of Fine-Tuning in our Universe

Fred C. Adams

- يشير **Hogan (2000)** في ورقته إلى أن الضبط الدقيق لكتل الكواركات يؤثر بشكل مباشر على شدة القوة النووية الضعيفة، والتي بدورها تلعب دورًا حاسمًا في استقرار البروتونات والنيوترونات. إن أي تغييرات طفيفة في الكتل النسبية للكواركات العلوية والسفلية يمكن أن تؤدي إلى تغيرات كبيرة في قوة التفاعل النووي الضعيف، مما قد يؤدي إلى تحلل البروتونات والنيوترونات أو عدم استقرارها. هذا الاستقرار هو ما يسمح للمادة أن تبقى في حالتها الحالية دون أن تتحلل إلى جسيمات أبسط . *(Hogan, 2000, p. 1153).*
- كما يناقش **Adams (2019)** التأثير المباشر لضبط كتل الكواركات على القوة النووية القوية. يستعرض الباحث كيفية تأثير كتلة "بيون(pion) "، وهو جسيم يتكون من كواركات، على نطاق القوة النووية القوية التي تحافظ على ترابط النوى. إذا كانت الكواركات أثقل بكثير، فإن نطاق القوة النووية القوية سيصبح أقصر، مما قد يجعل النوى غير مستقرة. هذا يعني أن أي انحراف عن الكتل المعيارية للكواركات يمكن أن يؤدي إلى كون لا يمكن فيه للنوى أن تبقى مستقرة، مما يهدد وجود المادة كما نعرفها.*(Adams, 2019, p. 58)* .
- إن تحديد كتل الكواركات يؤثر على كتلة "بيون pion"[9]، والتي بدورها تحدد نطاق القوة النووية القوية؛ فإذا ما أصبحت الكواركات ثقيلة للغاية، فقد يصبح نطاق القوة القوية قصيرًا بما يكفي لجعل جميع النوى غير مستقرة!
- لذلك فتعيير الحد الأعلى لكتل الكواركات الثقيلة له أثر مباشر على مقدار القوة النووية القوية[10]، والتي شاهدنا أنها في نطاق يسمح باستقرار النوى، وأنها لو خرجت عن ذلك النطاق لما استقرت نوى المواد التي تتشكل منها مادة الكون!
- تؤكد دراسة **Barr**و **Khan (2007)** على أن الفرق الكتلي بين الكواركات العلوية والسفلية ليس مجرد صدفة، بل هو نتيجة ضبط دقيق يمنع تفاعلات الاضمحلال غير المرغوب فيها، مثل تحول البروتونات إلى نيوترونات بشكل مفاجئ. لو كانت هذه التفاعلات مسموحة بسبب اختلاف في الكتل، فإن البروتونات والنيوترونات لن تكون قادرة على الحفاظ على استقرارها لفترة طويلة، مما يهدد وجود المادة بأكملها. يوضح الباحثان أن هذا التوازن بين الكتل يتطلب ضبطًا دقيقًا للغاية، وهو أمر حيوي للحفاظ على الكون كما نعرفه.*(Barr & Khan, 2007, p. 45)* .

---

[9] البيون، جسيم تحت ذري، غير مستقر، ينتمي إلى الميزونات meson، ويحوي كواركا وكواركا مضادا، وقد اكتشف منذ الأربعينات من القرن العشرين.

[10] The Degree of Fine-Tuning in our Universe Fred C. Adams p 23;

Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p 9.

- في كتابه **"The Lightness of Being"**، يتناول **Wilczek (2007)** أهمية كتل الكواركات بالنسبة لتشكيل واستقرار البروتونات والنيوترونات. يوضح الباحث أن التغيرات الطفيفة في هذه الكتل يمكن أن تؤدي إلى تفاعلات فيزيائية مختلفة تمامًا، مما قد يؤدي إلى انعدام الاستقرار في الجسيمات الأساسية التي تشكل المادة. يؤكد Wilczek أن هذا الضبط الدقيق ليس مجرد عامل مهم لاستقرار البروتونات والنيوترونات، بل هو ضروري أيضًا لضمان استمرارية الكون وتكوينه الحالي *(Wilczek, 2007, p. 122).* .

تـأثير فرق الكتلـة بين النيوترون والبروتون على عمـل النجوم وعلى الوفرة النســبيـة للهيدروجين والهيليوم في الكون:

- على الرغم من أن كتل الكواركات غير مقيســة بدقة بالغة، إلا أنه يمكننا تقدير تأثير التغيير في اختلافها. وبقدر ما تحافظ هياكل النيوترون والبروتون على تناســق الدوران المغزلي **isospin**، فإن الحساب بسيط لأن كتلتيهما تتغيران فقط بطريقة إضافية استجابة لتغير كتل الكوارك.[11]
- يشير **Hogan (1999)** أن النيوترون يتكون من كواركين سفليين، وثالث علوي، بينما يتكون البروتون من كواركين علويين وثالث ســفلي. يعود الفرق في الكتلة بين النيوترون والبروتون جزئياً إلى كتلة الكوارك الســفلي[12] الذي يزيد بحوالي 4 ميغا إلكترون فولت (MeV) عن كتلة الكوارك العلوي، مما يجعل النيوترون أثقل من البروتون.
- كما تســاهم الشــحنة الكهربائية للبروتون بمقدار 2.7 ميغا إلكترون فولت في كتلة النيوترون، مما يعزز الفرق في الكتلة بينهما إلى حوالي 1.293 ميغا إلكترون فولت، وهو الفرق الذي يســمح للنيوترون بالتحلل إلى بروتون وإلكترون عبر عملية بيتا *(Hogan, 1999, p. 15)*.
- ويضاف إلى مساهمة الشحنة الكهربائية للبروتون التي تبلغ 2.7 ميغا إلكترون فولت أيضا 1.3 ميغا فولت من كتلة البروتون أيضــا ليصــل مجموع مســاهمة البروتون في كتلة النيوترون 4 ميغا فولت (وكأنه تعويض إضافي للفرق بين مساهمة الشحنة الكهربائية ومساهمة الكتلة، لاحظ أن فرق كتلة النيوترون عن البروتون = 1.293 ميغا إلكترون فولت، والمســاهمة الإضــافية =1.3 ميغا إلكترون فولت، فكأن هذه المساهمة هي التي تحقق الفرق بين كتلتي النيوترون والبروتون!).
- تشير دراسة **Adams (2019)** إلى أن الفرق في الكتلة بين النيوترون والبروتون الذي يبلغ 1.293 ميغا إلكترون فولت هو مفتاح اســتقرار النوى الذرية. لو كانت كتلة النيوترون أكبر بمقدار 1.42 ميغا إلكترون فولت إضافية، فإن النوى الذرية كانت ستصبح غير مستقرة، ما يؤدي إلى تحلل البروتونات في النجوم إلى نيوترونات، ومن ثم إلى كون يخلو من الذرات والعناصــر الكيميائية المعروفة *(Adams, 2019, p. 23)*.

---

[11] Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p 16

[12] ملاحظة: يقدر كل من Fusaoka and Koide كتل الكواركات بالأرقام التالية:

- الكوارك العلوي mu = 4.88 ± 0.57 MeV
- الكوارك السفلي md = 9.81 ± 0.65 MeV

Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p16

- الفرق الحالي بين كتلة النيوترون والبروتون هو **1.293ميغا إلكترون فولت** .**(MeV)** عندما تقول الفقرة "لو كانت كتلة النيوترون أكبر بمقدار 1.42 ميغا إلكترون فولت إضافية"، فإن هذا يعني: أن الفرق الجديد سيكون **2.713 MeV = 1.42 + 1.293**.في هذه الحالة، تكون النتيجة أن كتلة النيوترون تصبح أثقل بمقدار 2.713 MeV مقارنة بالبروتون. هذا الفرق الكبير قد يؤدي إلى عدم استقرار النوى الذرية، مما يؤدي إلى تحلل البروتونات إلى نيوترونات ويؤثر سلبًا على استقرار الذرات والعناصر الكيميائية المعروفة.
- سنحاول ربط هذه الدراسة بالدراسات السابقة عن تعيير كتل الكوراكات، وما هو السيناريو الأقرب للواقع لوصول الفرق إلى 2.713 ميغا إلكترون فولت:
  - تتكون كل من النيوترونات والبروتونات من ثلاث كواركات، حيث يتكون النيوترون من كواركين سفليين (down quarks) وكوارك علوي (up quark)، بينما يتكون البروتون من كواركين علويين وكوارك سفلي. الفرق بين كتل الكواركات العلوية والسفلية يساهم بشكل كبير في الفرق الكتلي بين النيوترونات والبروتونات.
  - الكوارك السفلي أثقل من الكوارك العلوي بحوالي 4 ميغا إلكترون فولت (MeV).
  - هذا الفرق في الكتلة يؤدي إلى أن النيوترون (الذي يحتوي على كواركين سفليين) يكون أثقل من البروتون (الذي يحتوي على كواركين علويين).
  - يمكن الوصول إلى هذا الفرق الكبير عبر **زيادة كتلة الكوارك السفلي:** بما أن النيوترون يحتوي على كواركين سفليين مقارنة بكوارك واحد فقط في البروتون، فإن زيادة كتلة الكوارك السفلي يمكن أن ترفع من كتلة النيوترون بشكل كبير. على سبيل المثال، إذا زادت كتلة الكوارك السفلي بما يكفي، يمكن أن يؤدي ذلك إلى زيادة الفرق الكتلي الكلي للنيوترون مقارنة بالبروتون.
  - من الناحية النظرية، يمكن أن تحصل على فرق كبير في الكتلة بين النيوترون والبروتون إذا تغيرت كتل الكواركات بشكل كبير. ومع ذلك، نظراً لأن الفرق الحالي مضبوط بدقة (حوالي 1.293 ميغا إلكترون فولت)، فإن التغيير الذي يصل إلى 2.713 ميغا إلكترون فولت يتطلب تغييراً كبيراً في كتلة الكواركات التي تشكل البروتونات والنيوترونات.
  - مثل هذا التغيير ليس سهلاً ويتطلب اضطراباً في القوى الأساسية (مثل القوة النووية القوية) التي تتحكم في تفاعل الكواركات مع بعضها البعض داخل النيوترونات والبروتونات. لذا، فإن الوصول إلى فرق 2.713 ميغا إلكترون فولت على نطاق الكواركات سيتطلب تغييراً جذرياً في القوى أو الكتل الأساسية التي تتحكم في استقرار البروتونات والنيوترونات.

- أي إن ضـــبط الفرق بين كتل الكواركات، وبالتالي الفرق بين كتل البروتونات والنيوترونات في النواة محكوم بضبط القوى النووية القوية، ولم يترك لأي عوامل تزيحه باتجاه عدم استقرار المادة.
- لكن لأجل الجدل، للوصـــول لحالة عدم الاســـتقرار كالآتي: بما أن الكتلة الحالية للكوارك السفلي (down quark) تقدر بحوالي 9.81 ميغا إلكترون فولت (MeV). لكي يصبح الفرق بين كتلتي البروتون والنيوترون في نطاق 2.713 ميغا إلكترون فولت، يجب أن تزيد كتلة الكوارك السفلي لتصبح حوالي 10.52 ميغا إلكترون فولت، مما يعني زيادة بمقدار 0.71 ميغا إلكترون فولت عن الكتلة الحالية.
- هذا التغيير في كتلة الكوارك السفلي سيؤدي إلى زيادة في كتلة النيوترون، مما يرفع الفرق بين كتلة النيوترون والبروتون إلى 2.713 ميغا إلكترون فولت.
- أي إن النســـبة الحالية بين الكوارك الســـفلي والكوارك العلوي هي تقريبًا .**2.01**، وهي نســـبة مثالية تحقق اســـتقرار الجســـيمات تحت الذرية، وحتى يحصـــل عدم الاســـتقرار يتطلب أن تصبح النسبة 2.16.

- (**معظم كتلة البروتون والنيوترون، بسبب تبادل الحقول[13] الغلووني gluon بين الكواركات**[14]).
- نظرًا لأن النيوترون والبروتون متشـــابهان للغاية، فإن اســـتقرار البروتون حســـاس للغاية للآثار الكهرومغناطيسية والاستقرار حساس أيضا، -ولكن بصورة أقل- لكتل الكوارك الأسفل والأعلى.[15]
- الفرق في الكتلة بين الكوارك الســفلي والكوارك العلوي يمثل قيمة تجعل الســفلي أثقل بمقدار نفس القيمة اللازمة[16] (مسـاهمة إضـافية للكتلة يسـتمدها النيوترونُ من زيادة كتلة الكوارك السـفلي عن

---

[13] يحمل الحقل المغناطيسي طاقة، وبناء على معادلة أينشتاين الشهيرة فالحقل مادة أيضا إذ إن له كتلة، فالحقول الكهرومغناطيسية الموجودة داخل أي جسم تشارك مشاركة جوهرية في كتلته، أنظر تفاصيل في عقل الإمبراطور الجديد، روجر بنروز، ترجمة محمد الأتاسي، وبسام المعصراني 1998 ص 267

[14] Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p 14, 15: "Their internal structure and mass are entirely determined by strong QCD SU(3) gauge fields (gluons) interacting with each other and with the quarks"

[15] Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p 15

[16] فرق الكتلة بين النيوترون والبروتون هو 1.42 ميغا فولت، ومساهمة كتلة البروتون الإضافية فوق مساهمته في الشحنة الكهربائية هي 1.3 ميغا فولت، فهذه الزيادة تقريبا تناظر الفرق في الكتلة (وهو 1.293)، وتلزم لاستقرار النواة!

العلوي) كي يتمكن من التغلب بالضبط على فرق الطاقة الكهرومغناطيسية فتستقر النواة، ويكون النيوترون بفضل هذا الفرق في الكتلة أثقل من البروتون.[17]

- تتراوح كتل الكواركات من 5-6 ميجا فولت للكوارك **العلوي** up quark إلى 180،000 ميجا فولت للكوارك **القمة** top quark،[18]
- الفرق بين كتلة النيوترون وكتلة البروتون هي 1.293 ميغا إلكترون فولت، ولو زادت بمقدار 1.42 ميغا إلكترون فولت إضافية، هذه الزيادة كفيلة بعدم استقرار النواة، وبجعل تشكل ثنائي البروتون مستقرا، لذا ينبغي تعيير الكتل الذرية وتحت الذرية لمنع حصول هذه الزيادة.
- وبالتالي، فإن زيادة 1.42 MeV في كتلة النيوترون - والتي تتوافق مع زيادة 1.42 MeV في كتلة الكواركات السفلية –هذه الزيادة ليست سوى جزء واحد فقط من 126000 جزء[19] من مجموع كتل الكوارك **الممكنة**[20]، مما ينتج عنه تعيير منضبط دقيق محكم لحوالي واحد جزء في 126000، وهذا ضبط باتجاه أعلى، أي ما بين القيمة العليا لكتلة الكوارك العلوي مقارنة بأعلى كتلة كوارك **ممكنة** أي كتلة كوارك القمة،
- وأما الضبط بالاتجاه السفلي، فهو أن قيمة كتلة الكوارك العلوي يجب أن تزيد عن الصفر، ويجب أن لا تتجاوز -نظريا- قيمة 11.4 ميغا إلكترون فولت[21] **حتى تسمح بوجود الحياة**، وبالتالي فإن

[17] The u − d mass difference attracts attention because the d is **just enough heavier** than u **to overcome** the **electromagnetic energy difference** to make the proton (uud) lighter than the neutron (udd) **and therefore stable**. Hogan, C. (1999) "Why the Universe is Just So," https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf

[18] Peacock 1999: 216

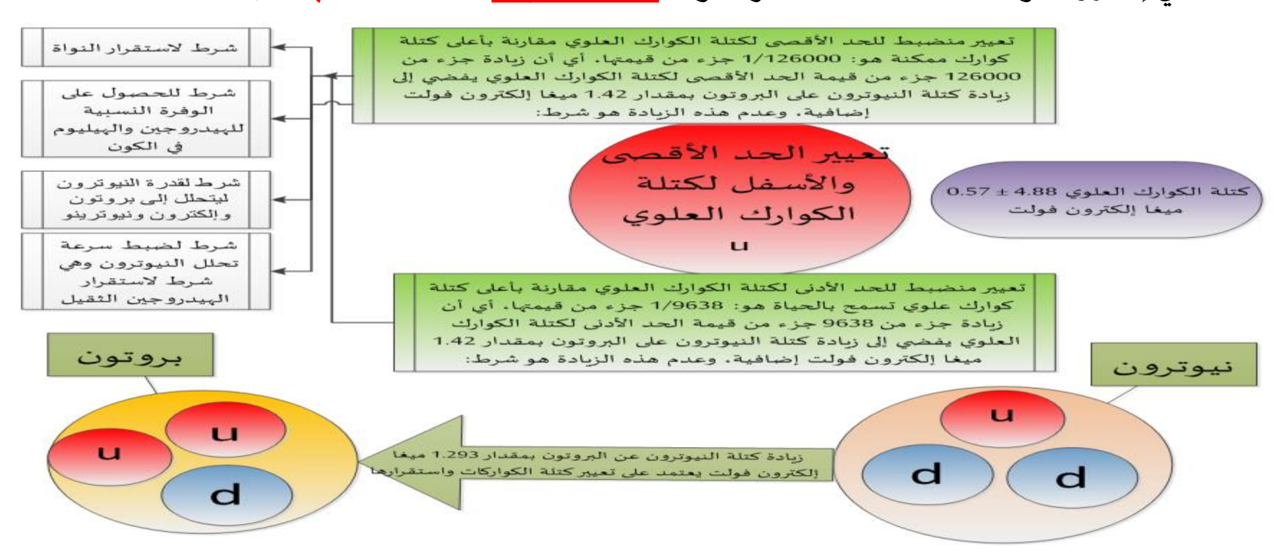
[19] كتلة الكوارك القمة = 180000 ميجا فولت، مضروبة في 1.42 = 126.760

[20] لتوضيح هذه الحجة، نضرب مثالا بملاكم في دائرة وزن "الريشة"، وزنه يجب أن يكون أعلى من 56 وأقل من 60 كيلوغراما، فإن زاد عنها منع من الملاكمة في دائرة وزن الريشة، وصار عليه أن يلاكم في دائرة وزن "الخفيف"، وإن قل عنها كان عليه أن ينافس في دائرة "وزن الديك" لذلك عليه أن يحافظ على وزنه بدقة، ولنفترض وجود ميزان بالغ الدقة، فإن نقص وزنه عن 60 كيلوغراما حتى بمقدار جزء من 126000 جزء من الغرام استطاع الملاكمة في دائرة الريشة، ولو زاد هذه القيمة ووصل 60 كيلوغراما منع من ذلك، ولكنه كإنسان يمكن أن يسمن ويزيد وزنه حتى يصل إلى رقم هائل، فبعض الناس مثلا وزنهم يزيد كثيرا، وقد وصل وزن جون برور مينوخ رقم 635 كيلوغرام (توفي 1983)، فالحجة تقول أننا لو قسنا كتلة الكوارك وضبطها في دائرة (خفيف الريشة)، مقارنة بأقصى كتلة يمكن الوصول إليها نظريا لأعلى كتلة كوارك معروف، أي الكوارك القمة، ورأينا مقدار التعيير اللازم حتى لا تخرج من نطاق "الريشة" إلى النطاق التالي وهو وزن الخفيف، أو أقل منه وهو وزن الديك! فالتعيير المنضبط يعني أن وصول الوزن لقرب الحافة العليا، ومن ثم أن يزيد بمقدار جزء من 126 ألف جزء يكفي لمنعه، أو نقصانه في الاتجاه المقابل عن وزن 56 كيلوغراما بمقدار جزء من 9638 جزء من الغرام يمنعه أيضا!

[21] بحسب Robin Collins في ورقته البحثية: 'Evidence for fine tuning' وعندي تحفظ على قيمة 11.4 حيث إنها تتجاوز الحد الفاصل بين كتل الكواركات العليا والسفلى، وتدخل في نطاق قيم كتل الكواركات السفلى، وهذا التجاوز يؤدي إلى إمكانية الاضمحلال، ويفضي إلى عدم استقرار الكواركات وبالتالي عدم استقرار البروتونات والنيوترونات، ولعل الرقم الصحيح في حدود 8 ميغا إلكترون فولت كحد أقصى! وبالتالي

التعيير المنضبط الدقيق المحكم هنا من هذا الاتجاه هو جزء من 18000 جزء، فهو تعيير منضبط دقيق محكم باتجاهين، لو اختل في أي منها بمقدار جزء من 126 ألف جزء أو بمقدار جزء من 18 ألف جزء لما أمكن للحياة أن تقوم[22]!

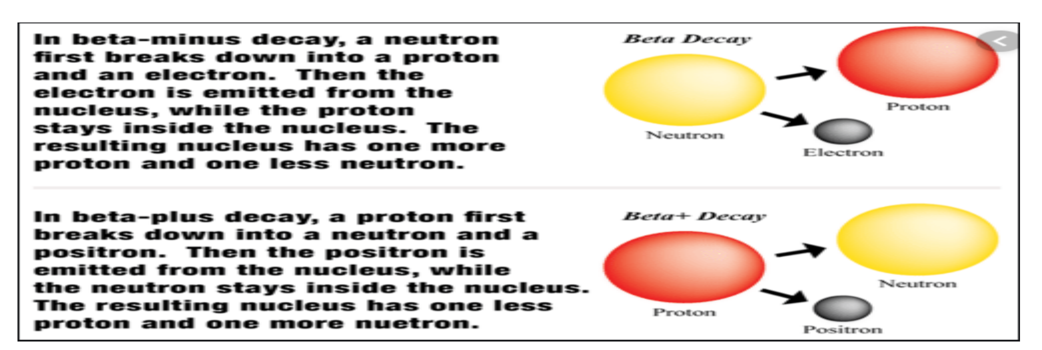
- كتلة النيوترون أكبر من كتلة البروتون، ولو كان العكس لكانت الذرات غير مستقرة، ولما كان هناك ذرات ولا كيمياء! لذلك من المهم أن تكون كتلة النيوترون أكبر من كتلة البروتون، ولكن ليس بمقدار كبير، إذ لو كان الفرق بينهما كبيرا لما استقرت نويات الذرات، ولما كان هناك كيمياء!
- النواة غير المستقرة تقوم بانبعاثات (اضمحلال) بيتا السالب بتحلل النيوترون إلى بروتون، وإطلاق إلكترون سالب الشحنة، أو بانبعاثات بيتا الموجبة، بأن يتحول البروتون إلى نيوترون ويطلق بوزيترونا (أي إلكترونا موجب الشحنة)، فتستقر النواة، وضبط سرعة هذا التحلل مهمة جدا،



الشكل رقم (26): التعيير المنضبط الدقيق لكتلة الكواركات

فالتعيير يصبح جزءا من 9638 جزءا على اعتبار أن الفرق بين كتلة النيوترون والبروتون هو 0.00083 وليس 0.00063 كما في حسابات كولن. (ثائر سلامة).

[22] Collins, R, 'Evidence for fine tuning' undated. http://home.messiah.edu/~rcollins/Fine-tuning/The%20Evidence%20for%20Fine-tuning.rtf; The mass of the proton and the neutron as an example of fine tuning for life.



الشكل رقم (27): تحلل النيوترونات إلى بروتونات (بالأعلى) والتحلل العكسي (بالأسفل)[23]، المصدر: [Beta Decay](#)

- ولو كانت كتلة النيوترون أكبر لكانت سرعة التحلل أسرع، مما يجعل الهيدروجين الثقيل (الديوترون، أو الديوتيريوم) غير مستقر! الأمر الخطير على كيمياء الوجود![24]
- والنيوترون المتعادل الشحنة الذي في نوى الذرات، أثقل من البروتون بمقدار 1.00137841870 مرة، أو هو أثقل بمقدار 1.293 MeV، ميغا إلكترون فولت فقط،
  - وهو ما يسمح له بالتحلل إلى بروتون وإلكترون،
  - ويصاحب هذا التحلل فرق في الطاقة بين النيوترون، وما نتج عن تحلله من الكترون وبروتون،
  - فتبين أن جسيما صغيرا يحمل هذا الفرق من الطاقة، والزخم الزاوي، والزخم، هو النيوترينو، وهو جسيم بالغ الأهمية في الكون واستقراره،
  - وهذه العملية حدَّدَت الوفرةَ النسبيةَ للهيدروجينِ والهيليومِ بعد الانفجار الأعظم وأعطتنا كونًا يهيمن عليه الهيدروجين،
  - بينما لو كانت نسبة الكتلة النيوترونية إلى البروتون مختلفة بعض الشيء، لربما نتج كون آخر بكثير من الهيليوم،
  - وحينذاك كانت النجوم لتحترق بسرعة كبيرة جدًا، الشيء الذي ما كان ليناسب أن تنشأ الحياة،

---

[23] حين تحلل النيوترون في نواة غير مستقرة يسمى بتحلل بيتا السالب، يتحلل النيوترون إلى بروتون وإلى إلكترون سالب الشحنة، وينطلق الإلكترون خارج النواة، وتبقى النواة فيها بروتون إضافي ونيوترون واحد أقل مما كانت عليه قبل التحلل، أما حين تحلل البروتون في نواة غير مستقرة، ويسمى اضمحلال بيتا الموجب، فيتحلل البروتون إلى نيوترون ويطلق جسيم بوزيترون (إلكترون موجب الشحنة) خارج النواة، وتبقى النواة فيها نيوترون إضافي وبروتون واحد أقل مما كانت عليه قبل التحلل، فيتحول العنصر الذي هذه نواته لعنصر آخر في الجدول الدوري، أو لنظير من نظائره.

[24] Hogan, C. (1999) “Why the Universe is Just So,” https://arxiv.org/pdf/astro-ph/9909295.pdf p 16

- أو أنتج كوناً كانت البروتونات لتتحلل فيه إلى نيوترونات بدلاً من العكس، تاركة الكون بدون ذرات، أي بدون مادة، لذلك -في الواقع- لم نكن لنوجد ونعيش هنا على الإطلاق - لم نكن موجودين![25].

- يوضح **Leslie (1989)** أن ضبط فرق الكتلة بين النيوترون والبروتون له دور كبير في تحديد الوفرة النسبية للهيدروجين والهيليوم في الكون بعد الانفجار العظيم. لو كان هذا الفرق مختلفاً قليلاً، لكانت الوفرة النسبية لهذه العناصر مختلفة بشكل كبير، ما يؤثر بشكل كبير على تكون النجوم والعناصر الثقيلة اللازمة للحياة *(Leslie, 1989, p. 15)*.
- في سياق متصل، يناقش **Hogan (1999)** أن هذا الفرق البسيط في الكتلة بين النيوترون والبروتون يؤدي إلى استقرار النوى الذرية في النجوم، مما يسمح للنجوم بالعمل لفترات طويلة من الزمن. إذا كان الفرق في الكتلة أكبر أو أصغر بشكل ملحوظ، فإن النجوم كانت لتحترق بسرعة كبيرة، أو كانت البروتونات لتتحلل إلى نيوترونات، مما يؤدي إلى كون يهيمن عليه الهيليوم أو حتى بدون ذرات مستقرة *(Hogan, 1999, p. 16)*.
- تتطلب العمليات النووية داخل النجوم ضبطاً دقيقاً لفرق الكتلة بين النيوترون والبروتون. تشير دراسة **Barrow**و **Tipler (1986)** إلى أن الفرق في الكتلة بين النيوترون والبروتون له تأثير كبير على عملية انبعاثات بيتا، التي تساهم في استقرار النوى الذرية. إذا كان هذا الفرق أكبر، فإن سرعة تحلل النيوترونات كانت ستزداد، مما يؤثر سلباً على استقرار الهيدروجين الثقيل (الديوترون) في النجوم، وهو ما قد يؤدي إلى عواقب خطيرة على كيمياء الكون *(Barrow & Tipler, 1986, p. 371)*.
- يقول الفيلسوف الكندي جون ليزلي: "أحد العوامل الأخيرة الحاسمة للنجوم هو فرق الكتلة النيوترونية - البروتونية. كما يقول س. و. هاوكينج[26] لو لم يكن الفرق يمثل ضعفي كتلة الإلكترون تقريبا، [حوالي 2.5 كتلة الإلكترون، ويكافئ الفرقُ بين كتلة النيوترون وكتلة البروتون 0.00083 مرة من كتلة النيوترون]،
  - فلن يحصل المرء على بضع مئات أو أكثر من الجسيمات النووية المستقرة التي تشكل العناصر وهي أساس الكيمياء والبيولوجيا." وهنا الأسباب: [27]

---

[25] Is the Universe Fine-Tuned for Life? Anil Ananthaswamy; NOVA PBS 2012

[26] *Physics Bulletin*, Cambridge, 32, p. 15.

[27] Barrow and Tipler, pp. 371, 399-400; Davies, "The Anthropic Principle," pp.9-10, and The Forces of Nature (Cambridge: 1979), pp. 100-102, 172; Rozental, Elementary Particles etc., pp. 78-84. The Prerequisites of Life in Our Universe John Leslie

- إن زيـادة كتلـة النيوترون عن البروتون بحوالي جزء في الألف [بـدقـة أكثر: 0.00083]، يترك النيوترون مرتبطا بطاقة أقل،
- عند ذلك فإن تحلل النيوترون إلى بروتون فقط سـيفضـي إلى كون لا يحوي إلا البروتونات، فلا يوجد إلا الهيدروجين في الكون،
- يرتبط البروتون بـالبروتون في النواة، بواسـطـة القوة النووية القويـة، ولكن وبسـبـب وجود الإلكترونـات، فـإن النـواة سـتسـتقر حيث تعمل الإلكترونـات على تثبيط تحلـل النيوترونـات، بحسب مبدأ باولي Pauli Principle، لكنه لن يمنع هذا التحلل تماما، وذلك بسبب الفرق المتمثل بوجود هذه الزيادة البسيطة في الكتلة،
- أما لو كانت كتلـة النيوترونات أقل بقليل أي بحوالي ثلث ما هي عليه، فلن تتحلل النيوترونات خارج النواة،
- وكانت البروتونات جميعها لتتحول إلى نيوترونات خلال الانفجار العظيم،
- الأمر الذي كان ليتسبب في عدم وجود الذرات،
- وكان الكون كله سيتكون من نجوم نيوترونية، وثقوب سوداء فقط!
- ولو لم يكن فرق الكتلة بين النيوترون والبروتون بمقدار الإلكترون تقريبا [2.5 إلكترون]، فـإن الذرات كانت لتنهار، وستندمج إلكتروناتها مع بروتوناتها لتنتج النيوترونات فقط،

- كـتـلـة الـبروتـون = 938.272 MeV، وكـتـلـة الإلـكـترون = 0.510998 MeV، ومـجـمـوعـهـمـا = MeV938.782998، وكتلة النيوترون = 939.565 MeV، والفرق بين كتلة النيوترون، ومجموع كتلتي البروتون والإلكترون =0.782 MeV، ولو طرحنا منها كتلة إلكترون ثان فينتج الفرق النهائي 0.271 MeV، وهي مـا تقـل قليلا عن نصـف كتلـة الإلكترون، أي أن كتلـة النيوترون تكـافئ كتلـة بروتون والإلكترونين ونصف الإلكترون تقريبا، والفرق بين كتلة النيوترون وكتلة البروتون هو MeV1.293 .
- ولكن، ولأن النيوترون متعادل كهربائيا، فإنه سـيضـيف مشـاركة في جهة القوة النووية القوية التي تمسـك الجسـيمات الذرية في النواة مع بعضـها دون أن يضـيف لها أية إضـافة كهرومغناطيسـية قد تتسبب في التنافر أو بالتجاذب أكثر مما كان ليفضي إلى تفتيت مكونات النواة"![28]
- **تـأثير فـرق الـكـتـلـة على تـطـور الـنـجـوم والـعـنـاصـر الـثـقـيـلـة[29]: .Iocco, F., et al. (2009)**، تؤكد الدراسـة على أن الفرق بين كتلة النيوترون والبروتون، والذي يبلغ **1.293 ميغا إلكترون فولت**

---

[28] The Prerequisites of Life in Our Universe John Leslie

[29] Iocco, F., et al. (2009). "Primordial Nucleosynthesis: From Precision Cosmology to Fundamental Physics". Physics Reports, 472(1-6), 1-76.

(MeV)، هو حاسـم لتحديد نسـب العناصـر الخفيفة مثل الهيدروجين والهيليوم التي تشـكلت خلال التخليق النووي الأولي بعد الانفجار العظيم، وتشـــير الدراســـة إلى أن أي انحراف طفيف عن هذا الرقم، ســواء بالزيادة أو النقصــان، يمكن أن يغير نســبة الهيدروجين إلى الهيليوم بشــكل كبير، مما يؤثر على تطور النجوم والعناصر الثقيلة الضرورية للحياة. إذا زاد الفرق الكتلي إلى أكثر من **1.5ميغا إلكترون فولت** أو انخفض إلى أقل من **1.0ميغا إلكترون فولت**، فقد يؤدي ذلك إلى اضـــطراب في التوازن النووي داخل النجوم *(Iocco et al., 2009, p. 10).*

- **التحليل الكمي لفرق الكتلة وتأثيره على اســتقرار المادة[30]: Jaffe, R. L., & Wilczek, F. (2003):**

يتنـاول هـذا البحـث التحليـل الكمي لكتلـة الكواركـات ودورهـا في تكوين واســتقرار البروتونـات والنيوترونـات. يؤكـد البـاحثون أن فرق الكتلـة الـدقيق بين النيوترون والبروتون هو نتيجـة لتفـاعـل معقـد بين الكواركـات والجلونـات(gluons) ، وأن أي انحراف عن هـذا الفرق قـد يؤدي إلى تحلـل النيوترونات بشـكل أسـرع، مما يؤثر على اسـتقرار النوى الذرية والمادة *(Jaffe & Wilczek, 2003, p. 26).*

تقدم الدراســة تحليلاً دقيقاً للكتل الدقيقة للكواركات العلوية والســفلية، حيث تزن الكواركات العلوية حوالي 4.88 ميغا إلكترون فولت بينما تزن الكواركات الســفلية حوالي 9.81 ميغا إلكترون فولت.

الفرق الكتلي بين الكواركات يســاهم في الحفاظ على الفرق الكتلي بين النيوترونات والبروتونات. أي انحراف طفيف في هذا الفرق يمكن أن يؤدي إلى تحلل النيوترونات بشـكل أسـرع، مما يهدد اسـتقرار النوى الذرية.

إذا زادت كتلة الكوارك الســفلي بشــكل كبير مقارنة بالكوارك العلوي، فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى اضـطراب في النسـبة المثالية بين الكواركات، مما يجعل النيوترون أثقل بكثير من البروتون، وقد يؤدي هذا إلى تحلل سريع للنيوترونات ويؤثر على استقرار المادة (Jaffe & Wilczek, 2003, p. 26).

- **أهمية فرق الكتلة في الحفاظ على استقرار الكون[31]: .Damour, T., & Donoghue, J. F. (2010):**

في هذه الدراسـة، يناقش الباحثان التأثيرات المحتملة لتغير الثوابت الفيزيائية الأسـاسـية، بما في ذلك كتلة النيوترونات والبروتونات، على اسـتقرار الكون. يشـير الباحثان إلى أن فرق الكتلة بين النيوترون

---

[30] Jaffe, R. L., & Wilczek, F. (2003). "Quarks, Gluons and the Quantum Theory of Strong Interactions". Physics Today, 56(9), 24-30.

[31] Damour, T., & Donoghue, J. F. (2010). "Constraints on the Variability of Fundamental Constants from Planck Scale Physics". Physics Review D, 82(8), 084033.

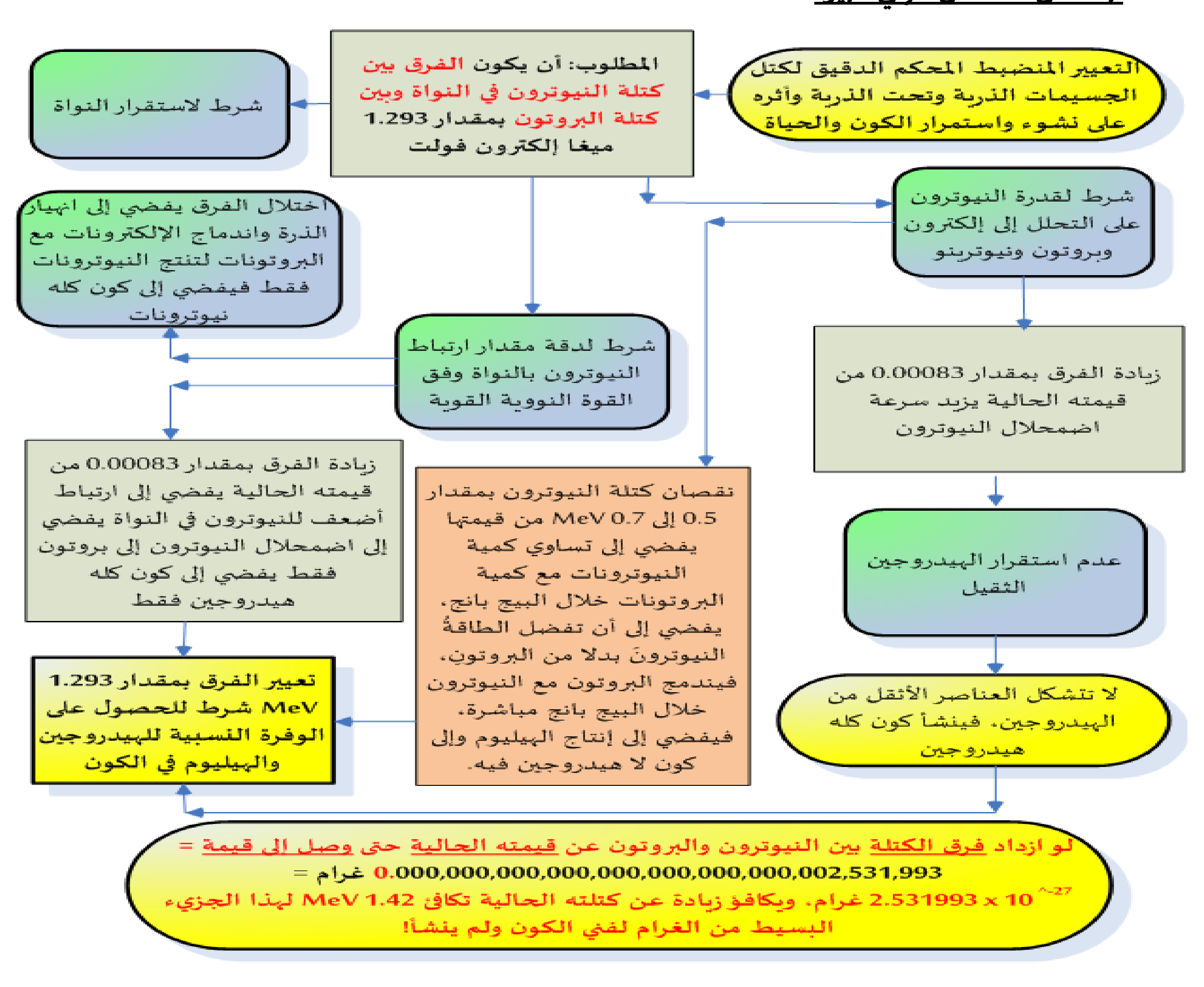
والبروتون، إذا تغير بشكل طفيف، قد يؤدي إلى تغيرات كبيرة في استقرار الذرات، ما يؤثر بدوره على تطور النجوم والكون ككل،. إذا ارتفع الفرق الكتلي إلى **2.713 ميغا إلكترون فولت**، فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى اضطراب كبير في استقرار الذرات والنجوم، مما يعرض الكون لتغيرات جوهرية في تركيبته*(Damour & Donoghue, 2010, p. 15)*

- **العلاقة بين فرق الكتلة وسرعة تحلل النيوترونات**[32]: **Patrignani, C., et al. (2016)**
- تقدم هذه الورقة مراجعة شاملة للفيزياء الجسيمية، بما في ذلك دراسة دقيقة لفرق الكتلة بين النيوترون والبروتون الحالي والذي يبلغ **1.293ميغا إلكترون فولت** وأنه هو الحاسم لضمان تحلل النيوترونات بمعدل يحافظ على استقرار النوى الذرية. يشير الباحثون إلى أن الفرق في الكتلة يؤثر على سرعة تحلل النيوترونات، وهي عملية أساسية لضمان استقرار النوى الذرية واستمرار العمليات النووية داخل النجوم، وأن أي تغيير في هذا الفرق، سواء بزيادته أو تقليله، سيؤدي إلى تغيير في سرعة تحلل النيوترونات، مما يمكن أن يؤثر سلبًا على استقرار الذرات. *(Patrignani et al., 2016, p. 60).*
- **فرق الكتلة وتأثيره على وفرة العناصر**[33]: **.Pospelov, M., & Trott, M. (2010):** يناقش هذا البحث كيف يمكن لاختلافات بسيطة في فرق الكتلة بين النيوترونات والبروتونات أن تؤدي إلى تغييرات كبيرة في وفرة العناصر مثل الهيدروجين والهيليوم. يشير الباحثان إلى أن ضبط فرق الكتلة هو عامل حاسم لضمان النسب المناسبة للعناصر في الكون، مما يساهم في تكوين النجوم والكواكب، إذا زاد الفرق عن **1.293ميغا إلكترون فولت** بشكل كبير، فإن ذلك سيؤدي إلى تغيير جذري في تكوين النجوم والعناصر الثقيلة، مما يهدد استقرار الكون. *(Pospelov & Trott, 2010, p. 550).*
- أغلب النظريات التي تتعلق بحقل وبوزون هيجز هي رياضيات نظرية بحته، وقد اكتشف بوزون هيجز في مصادم سيرن في جنيف عام 2012، والنظرية تقول بأن انتشار مادة تسمى حقل هيجز (بوزونات) تم تقريبا عند الثانية 10 ^-10 من الثانية الأولى بعد الانفجار الكبير، كان لهذا الحقل أثر على تشكل تغيرات الطور phase transition في نسيج الزمكان، وبتفاعل الجسيمات الأولية مع هذا الحقل اكتسبت طاقة بصورة نقية energy intrinsic تسمى الكتلة، والملاحظ هو أن شدة intensity حقل هيجز بالنسبة لهياكل الجسيمات معيرة ومنضبطة بشكل دقيق محكم، فلو زادت شدة حقل هيجز

[32] Patrignani, C., et al. (2016). "Review of Particle Physics". Chinese Physics C, 40(10), 100001.

[33] Pospelov, M., & Trott, M. (2010). "Big Bang Nucleosynthesis as a Probe of New Physics". Annual Review of Nuclear and Particle Science, 60(1), 539-568.

مرات قليلة عن قيمتها الحالية فستتقلص النويات، وتضمحل الجسيمات النووية داخل النواة وتنفصل عنها، ولن يبقى في الكون إلا الهيدروجين، فما هي كتلة بوزون هيجز؟ وجد أنها تقريبا 126 GeV، أو تقريبا $10^{-22} * 2$ غرام، وهي قيمة عالية في عالم فيزياء الجسيمات الذرية وتحت الذرية، وقد أجرى بعض الفيزيائيين النظريين حسابات على أثر قيمة كتلة بوزون هيجز، فوجدوا أنها معيرة تعييرا منضبطا دقيقا محكما بصورة تجعل الكون معلقا في حالة استقرار على حافة السكين، إن حقل هيجز ليس تكوينًا متذبذبًا استمر حتى الآن، ولكن مع ذلك سوف ينهار في النهاية[34]، فكتلة بوزون هيجز معيرة بشكل دقيق جدا لتجعل الكون على حافة سكين تغير الطور، **<u>في صورة قريبة جدا من انكماش كوني كبير!</u>**[35]



---

[34] the higgs field is not wobbly configuration that has lasted so far but that had eventually collapse

[35] Why our universe might exist on a knife-edge | Gian Giudice; also: https://www.livescience.com/47737-stephen-hawking-higgs-boson-universe-doomsday.html

الشكل رقم (28): ملخص تعيير الكتل الذرية وتحت الذرية

السر الكوني الأعظم: كيف تحكم النسبة المثالية 2.01 بين الكواركات والفرق الدقيق 1.293 بين النيوترون والبروتون مصير الكون بأكمله؟

أولا: تأثير فرق الكتلة على تطور النجوم والعناصر الثقيلة

- **المصدر: Iocco, F., et al. (2009). "Primordial Nucleosynthesis: From Precision Cosmology to Fundamental Physics". Physics Reports, 472(1-6), 1-76.**
  - **التفاصيل: تغيير بسيط: (+0.01 إلى +0.1 ميغا إلكترون فولت:**
  - إذا زاد الفرق الكتلي بين النيوترون والبروتون من **1.293 ميغا إلكترون فولت** إلى 1.3.03**ميغا إلكترون فولت**، فإن هذا قد يؤدي إلى زيادة طفيفة في نسبة الهيليوم المنتج خلال التخليق النووي الأولي. تأثير هذا التغيير يكون محدودًا ولكنه قد يؤدي إلى تغيرات صغيرة في تكوين النجوم الأولية. *(Iocco et al., 2009, p. 10).*
  - **تغيير متوسط: (+0.1 إلى 0.5 ميغا إلكترون فولت)**
    - إذا زاد الفرق الكتلي إلى حوالي 1.393**ميغا إلكترون فولت**، فإن نسبة الهيليوم ستزداد بشكل أكبر، مما يؤدي إلى تغير في تكوين العناصر الثقيلة التي تنتجها النجوم. هذا يمكن أن يؤثر على دورة حياة النجوم ويؤدي إلى نجوم تحترق بشكل أسرع *(Iocco et al., 2009, p. 12).*
  - زيادة الفرق بين كتلة البروتون والنيوترون إلى MeV 2.713: ميغا إلكترون فولت ستؤدي إلى إنتاج مفرط للهيليوم على حساب الهيدروجين خلال التخليق النووي الأولي بعد الانفجار العظيم. هذه الزيادة الكبيرة في نسبة الهيليوم ستغير تكوين النجوم بشكل جذري، مما يؤدي إلى نجوم تحترق بسرعة كبيرة وتنهي دورة حياتها أسرع من المعتاد، مما يقلل من تكوين العناصر الثقيلة الضرورية للحياة (Iocco et al., 2009, p. 10).

ثانيا: التحليل الكمي لفرق الكتلة وتأثيره على استقرار المادة:

- **المصدر: Jaffe, R. L., & Wilczek, F. (2003). "Quarks, Gluons and the Quantum Theory of Strong Interactions". Physics Today, 56(9), 24-30.**
  - **التفاصيل: تغيير بسيط في نسبة الكتلة (2.01 إلى 2.02):**
    - إذا زادت كتلة الكوارك السفلي بنسبة بسيطة جدًا تجعل النسبة بين الكوارك السفلي والعُلوي تصل إلى **2.02**، فإن هذا يمكن أن يؤدي إلى تغيرات طفيفة في استقرار البروتونات والنيوترونات. التحلل النووي سيكون أسرع قليلاً، مما قد يؤدي

إلى فقدان اســتقرار النوى الذرية على مدى فترات طويلة *(Jaffe & Wilczek, 2003, p. 26).*

- **تغيير أكبر في نسبة الكتلة (2.01 إلى 2.1):**
  - في حالـة زيادة النســبـة إلى **2.1**، ســيكون تأثير ذلك أكثر وضــوحًا، حيث قد يبدأ النيوترون في التحلل بشــكل أســرع بكثير من البروتون، مما يعرض المادة النووية لخطر عدم الاستقرار *.(Jaffe & Wilczek, 2003, p. 28)*
- زيادة الفرق إلى MeV 2.713: الفرق الكبير بين كتلة النيوترون والبروتون عند 2.713 ميغا إلكترون فولت يمكن أن يؤدي إلى تحلل ســريع للنيوترونات خارج النوى الذرية. هذا التحلل السريع سيؤدي إلى فقدان النيوترونات من النوى، مما يجعل المادة النووية غير مستقرة على الإطلاق. يمكن أن يؤدي ذلك إلى تدمير البروتونات والنيوترونات بشــكل كامل، مما يهدد بقاء المادة كما نعرفها (Jaffe & Wilczek, 2003, p. 26).

ثالثا: أهمية فرق الكتلة في الحفاظ على استقرار الكون:

- **المصــدر : Damour, T., & Donoghue, J. F. (2010). "Constraints on the Variability of Fundamental Constants from Planck Scale Physics". Physics Review D, 82(8), 084033.**
  - **التفاصيل: تغيير بسيط: (+0.01 إلى 0.1 ميغا إلكترون فولت)**
    - تغيير طفيف مثل زيادة الفرق الكتلي إلى 1.303**ميغا إلكترون فولت** يمكن أن يؤدي إلى تغيرات دقيقة في اسـتقرار الذرات. هذا التغيير قد لا يكون محســوسًــا على المدى القصير ولكنه قد يؤدي إلى تغيرات تدريجية في بنية الكون على مدى مليارات السنين *(Damour & Donoghue, 2010, p. 15).*
  - **تغيير أكبر: (+0.5 إلى + 1.0 ميغا الكترون فولت)**
    - إذا زاد الفرق الكتلي إلى حوالي 1.793**ميغـا إلكترون فولـت**، فقـد يؤدي ذلـك إلى تغييرات واضحة في اسـتقرار الكون. الذرات قد تصـبح أقل اسـتقرارًا، مما يؤثر على تطور الكون ككل ويزيد من احتمال تكوين أشياء مثل الثقوب السوداء *(Damour & Donoghue, 2010, p. 18).*
  - المصــدر: Damour, T., & Donoghue, J. F. (2010). إذا زاد الفرق إلى **2.713ميغا إلكترون فولت**، فإن اسـتقرار الكون بأكمله سـيكون معرضًـا للخطر. الذرات قد تصـبح غير مسـتقرة بشــكل كبير، مما قد يؤدي إلى انهيار الذرات وفشــل النجوم في الحفاظ على توازنها، مما قد يؤدي إلى انهيار الكون في نهاية المطاف *.(Damour & Donoghue, 2010, p. 15)*

رابعا: العلاقة بين فرق الكتلة وسرعة تحلل النيوترونات:

- **المصدر: Patrignani, C., et al. (2016). "Review of Particle Physics". Chinese Physics C, 40(10), 100001.**
  - **التفاصيل: تغيير طفيف في فرق الكتلة: (+ 0.01 إلى 0.05 ميغا الكترون فولت)**
    - تغيير طفيف يمكن أن يسرع من تحلل النيوترونات بشكل طفيف، مما قد يؤدي إلى تقليل فترة نصف العمر للنيوترونات المستقرة في النجوم *(Patrignani et al., 2016, p. 60).*
  - **تغيير أكبر في فرق الكتلة: (+ 0.5 ميغا الكترون فولت)**
    - إذا زاد الفرق الكتلي إلى 1.793 **ميغا إلكترون فولت**، فإن هذا سيؤدي إلى زيادة كبيرة في معدل تحلل النيوترونات، مما يهدد استقرار النجوم ويؤدي إلى تقليل عمرها *(Patrignani et al., 2016, p. 62).*
  - زيادة الفرق إلى 2.713 **ميغا إلكترون فولت** ستسرع بشكل كبير من معدل تحلل النيوترونات، مما يقلل من فترة نصف العمر للنيوترونات إلى مستويات غير مستقرة، وهو ما يعني أن النيوترونات لن تتمكن من البقاء لفترة كافية لدعم استقرار النوى الذرية *(Patrignani et al., 2016, p. 60).*

خامسا: فرق الكتلة وتأثيره على وفرة العناصر

- **المصدر: Pospelov, M., & Trott, M. (2010). "Big Bang Nucleosynthesis as a Probe of New Physics". Annual Review of Nuclear and Particle Science, 60(1), 539-568.**
  - **التفاصيل: تغيير بسيط: (+ 0.01 إلى 0.1 ميغا الكترون فولت)**
    - إذا زاد الفرق الكتلي بين النيوترون والبروتون إلى 1.393**ميغا إلكترون فولت**، فإن نسبة الهيليوم قد تزداد بشكل طفيف، مما يؤثر على توزيع العناصر الخفيفة في الكون *(Pospelov & Trott, 2010, p. 550).*
  - **تغيير أكبر: (+ 0.5 ميغا الكترون فولت)**
    - زيادة الفرق الكتلي إلى 1.793**ميغا إلكترون فولت** قد يؤدي إلى تغيير جذري في نسبة العناصر الخفيفة، مما يؤدي إلى تغيير تكوين النجوم والعناصر الثقيلة *(Pospelov & Trott, 2010, p. 552).*
  - زيادة الفرق إلى 2.713 ميغا إلكترون فولت ستؤدي إلى تكوين كميات هائلة من الهيليوم مقارنة بالهيدروجين، مما يغير جذريًا من نسب العناصر في الكون. يمكن أن يؤدي ذلك إلى

عدم وجود الهيدروجين بكميات كافية لدعم تكوين النجوم الجديدة، مما يهدد بقاء الكون *(Pospelov & Trott, 2010, p. 550)*.

سادساً: استقرار البروتونات والنيوترونات

- **تفاصيل: زيادة بسيطة في الفرق الكتلي (2.01 إلى 2.02):**
  - إذا زادت كتلة الكوارك السفلي بشكل طفيف، فإن استقرار النيوترونات قد يتأثر بشكل طفيف، مما يؤدي إلى زيادة معدلات التحلل النووي *(Jaffe & Wilczek, 2003, p. 26)*.
- **زيادة أكبر في الفرق الكتلي (2.01 إلى 2.1):**
  - هذه الزيادة قد تؤدي إلى تحلل النيوترونات بشكل أسرع بكثير، مما يعرض استقرار المادة النووية للخطر *(Damour & Donoghue, 2010, p. 18)*.
- زيادة الفرق إلى 2.713 MeV: استقرار البروتونات والنيوترونات سيكون مهددًا بشكل كبير. قد يؤدي ذلك إلى تفتت النيوترونات بشكل سريع، مما يؤدي إلى انهيار النوى الذرية وفشل التفاعلات النووية التي تدعم استقرار النجوم (Jaffe & Wilczek, 2003, p. 28).

سابعا: أثر فرق الكتلة على استقرار النجوم والكون:

- **تفاصيل: زيادة طفيفة في الفرق الكتلي: (+ 0.01 إلى 0.1 ميغا الكترون فولت)**
  - استقرار النجوم قد يتأثر بشكل طفيف، مما يؤدي إلى تغير في دورة حياة النجوم *(Iocco et al., 2009, p. 12)*.
- **زيادة كبيرة في الفرق الكتلي: (+ 0.5 ميغا الكترون فولت)**
  - النجوم قد تحترق بشكل أسرع وتتحول إلى ثقوب سوداء بسرعة أكبر، مما يؤثر على تطور الكون *(Damour & Donoghue, 2010, p. 18)*.
- زيادة الفرق إلى 2.713 MeV: مثل هذه الزيادة ستؤدي إلى استقرار غير مستدام للنجوم، مما سيؤدي إلى انهيارها بشكل أسرع وتحولها إلى ثقوب سوداء أو نجوم نيوترونية في وقت قصير. هذا التغير سيؤثر بشكل جذري على تطور الكون (Damour & Donoghue, 2010, p. 18).

ثامنا: العمليات النووية وتحلل النيوترون

- **تفاصيل: زيادة طفيفة في الفرق الكتلي: (+ 0.01 إلى 0.1 ميغا الكترون فولت):**
  - العمليات النووية داخل النجوم قد تصبح أقل كفاءة، مما يؤثر على تكوين العناصر الثقيلة *(Patrignani et al., 2016, p. 60)*.
- **زيادة كبيرة في الفرق الكتلي) : (+ 0.5 ميغا الكترون فولت)**

- تحلل النيوترونات قد يحدث بســرعة كبيرة، مما يؤدي إلى فقدان العناصــر الثقيلة وتغير في تركيب النجوم *.(Pospelov & Trott, 2010, p. 552)*

- زيادة الفرق إلى 2.713 MeV: التفاعلات النووية ستتغير بشكل كبير بسبب تحلل النيوترونات السريع، مما يؤدي إلى فشل في تكوين العناصر الثقيلة الضرورية للحياة، وإلى انهيار العمليات النووية التي تدعم النجوم (Patrignani et al., 2016, p. 62).

تاسعا: تأثير فرق الكتلة على الوفرة النسبية للهيدروجين والهيليوم

- **تفاصيل: زيادة طفيفة في الفرق الكتلي: (+ 0.01 إلى 0.1 ميغا الكترون فولت)**
  - نسبة الهيدروجين إلى الهيليوم قد تتغير بشكل طفيف، مما يؤدي إلى تأثيرات صغيرة على تكوين النجوم *.(Iocco et al., 2009, p. 10)*
- **زيادة كبيرة في الفرق الكتلي: (+ 0.5 ميغا الكترون فولت)**
  - الهيليوم قد يصــبح أكثر وفرة بشــكل كبير، مما يؤدي إلى تغيير في دورة حياة النجوم وتكوين العناصر الثقيلة *.(Pospelov & Trott, 2010, p. 550)*
- زيادة الفرق إلى 2.713 MeV: الوفرة النســبية للهيدروجين والهيليوم ســتتغير بشــكل جذري، حيث سيصبح الهيليوم أكثر وفرة بشكل كبير، مما يغير ديناميات الكون ويؤدي إلى عدم قدرة النجوم على الحفاظ على دورة حياة طويلة (Iocco et al., 2009, p. 10).

الخلاصة:

تشــير هذه الدراســات إلى أن الفرق الكتلي بين النيوترون والبروتون، الذي يبلغ 1.293 **ميغا إلكترون فولت**، يجب أن يكون مضــبوطاً بدقة شــديدة. أي انحراف طفيف عن هذه القيمة يمكن أن يؤدي إلى تغيرات ملحوظة في مجموعة واســعة من العمليات الفيزيائية التي تحكم اســتقرار المادة وتطور النجوم والكون. ســواء كان التغيير صــغيرًا أو كبيرًا، فإن كل مســتوى من الزيادة أو النقصــان في الفرق الكتلي يؤدي إلى نتائج مختلفة تؤثر على استقرار الكون بطرق معقدة.

من خلال دراسة النقاط التسع السابقة، يتضح أن التعيير المنضبط الدقيق لفرق الكتلة بين النيوترون والبروتون، والنســبة بين كتلتي الكوارك الســفلي والعلوي، هو تعيير متعدد الأبعاد، يتجاوز البعد الأحادي أو الثنائي. فعند النظر إلى التأثيرات المختلفة على اســتقرار النوى الذرية، تطور النجوم، تكوين العنـاصــر، واســتقرار الكون ككل، يتبين أن هذا التعيير الدقيق يتطلب ضــبطًا محكمًا عبر أبعاد متعددة تشــمل كلاً من فرق الكتلة (1.293 ميغا إلكترون فولت) والنسبة المثالية بين الكوارك السفلي والعلوي.(2.01)

بالنسـبة للرقم الذي يمثل هذا التعيير، يمكن تقديره بأجزاء دقيقة للغاية من النسـبة أو فرق الكتلة. على سـبيل المثال، التغييرات الصـغيرة جدًا مثل زيادة أو نقصـان بمقدار **0.01ميغا إلكترون فولت** في فرق الكتلة

بين النيوترون والبروتون، أو تغيير بسيط في النسبة بين كتلتي الكوارك السفلي والعلوي إلى **2.02**، قد يؤدي إلى نتائج كارثية تؤثر على استقرار المادة والكون بأكمله.

بناءً على ذلك، فإن التعيير المنضبط يمكن اعتباره ضمن نطاق من **1جزء من 1000 جزء**، بحيث إن أي تغيير بنسبة **0.001**أو أقل في هذا التعيير، سواء كان زيادة أو نقصان، يمكن أن يهدد توازن الكون بشكل جذري، مما يدل على درجة الدقة المتناهية التي يجب أن يحافظ عليها هذا التعيير لضمان استمرار استقرار الكون والمادة كما نعرفها.

الفرق الحالي بين كتلة النيوترون والبروتون هو حوالي **24-^10 × 2.305غرام** .إذا أردنا تحديد التعيير المنضبط الدقيق الذي يجب الحفاظ عليه لضمان استقرار الكون، فإن أي تغيير بنسبة **1جزء من 1000 جزء** من هذا الفرق سيكون حوالي **27-^10 × 2.305غرام**.

بالتالي، أي تغيير في هذا النطاق الضيق جدًا، سواء كان زيادة أو نقصانًا بمقدار **27-^10 × 2.305غرام** أو أقل، يمكن أن يهدد استقرار الكون بشكل جذري. هذه الدرجة من الدقة المتناهية تعكس التعيير الدقيق المطلوب للحفاظ على التوازن الكوني.